

# System pomiarowy poślizgu względnego na hamowni podwoziowej

Piotr Mróz, Sebastian Broł

Katedra Pojazdów Drogowych i Rolniczych, Wydział Mechaniczny, Politechnika Opolska, 45-271 Opole, ul. Mikołajczyka 5

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono metodę wyznaczania poślizgu względnego pneumatycznego koła ogumionego samochodu na jednorolkowej hamowni podwoziowej. Ustalono, że poślizg względny może być traktowany jako błąd systematyczny, który znacząco wpływa na wynik pomiaru mocy na kołach na hamowni podwoziowej. Poślizg względny wyznaczono za pomocą opracowanego systemu pomiarowego, którego podstawą jest mikrokontroler STM32. Przedstawiono również problemy związane z kalibracją układów licznikowych, których celem jest uzyskanie jak najmniejszych niepewności pomiarowych.

**Słowa kluczowe:** STM32, hamownia podwoziowa, poślizg względny, prędkość

Hamownie podwoziowe umożliwiają badania układów napędowych samochodów, ale również robotów mobilnych, a szczególnie czterokołowych, gdzie wykorzystywane są przekładnie CVT, napęd na jedną oś lub na wszystkie koła. Tego rodzaju roboty są dość rozpowszechnione, a najbardziej znane z nich to:

- Warrior I – robot inspekcyjny studenckiego koła naukowego z Politechniki Warszawskiej [13],
- Gryf® – robot do zadań specjalnych Przemysłowego Instytutu Automatyki i Pomiarów PIAP [12],
- MOSTS – czyli, robot z prototypowym układem napędowym wykorzystującym przekładnie CVT, Seoul National University [4].

Głównym celem robota mobilnego jest wykonanie pracy, może to być np. ciągnięcie, pchanie lub transport, stąd potrzeba wyznaczenia charakterystyk układu napędowego.

Wyniki takich badań (w odróżnieniu od metod trakcyjnych) są w dużej mierze powtarzalne z uwagi na fakt, że są przeprowadzane w kontrolowanych i ustalonych warunkach. Należy pamiętać, że jednym z problemów badań na hamowni podwoziowej jest poślizg. Poślizg jest zjawiskiem, gdzie jedno ciało, współpracując i pozostając w bezpośrednim kontakcie, porusza się z większą prędkością względem drugiego ciała.

## 1. Wstęp

Moment obrotowy wytwarzany na rolkach hamowni podwoziowej (obciążeniowej), zwany momentem hamującym, podczas przeprowadzanych testów przeciwdziała momentowi obrotowemu generowanemu przez koła napędzane pojazdu. Wartość momentu hamującego ustalana jest na podstawie założonego algorytmu pomiarowego i zwykle jest stały. Należy w tym miejscu zaznaczyć, że nieznanym jest, zmienny w funkcji prędkości kątowej i momentu obrotowego na kołach napędzanych pojazdu, moment oporów toczenia, który wyznacza się w tzw. próbie wybiegu.

Na podstawie opisanych warunkach przeprowadzania testów na hamowni podwoziowej, można opisać bilans działających momentów obrotowych [5, 6], niżej przedstawioną zależnością (1).

$$M_K = M_t + M_R, \quad (1)$$

gdzie:  $M_K$  – moment obrotowy na kołach napędzanych pojazdu,  $M_t$  – moment oporów toczenia,  $M_R$  – moment hamujący na rolce hamowni.

Stosując zależność (1) możliwe jest wyznaczenie siły napędowej  $F_N$  (2). Należy pamiętać, że wartość promienia dynamicznego  $r_{dynam.}$  nie jest stała i zmienia się w zależności od prędkości kątowej koła pojazdu oraz obciążenia.

$$F_N = \frac{M_R + M_t}{r_{dynam.}}, \quad (2)$$

gdzie:  $F_N$  – siła napędowa na kołach napędzanych pojazdu,  $M_t$  – moment oporów toczenia,  $M_R$  – moment hamujący na rolce hamowni,  $r_{dynam.}$  – promień dynamiczny koła pojazdu.

Jeśli momenty obrotowe koła pojazdu i rolki hamowni są różne co do wartości, to w danej chwili na styku tych dwóch, oddzia-

### Autor korespondujący:

Piotr Mróz, p.mroz@po.opole.pl

### Artykuł recenzowany

nadesłany 15.11.2014 r., przyjęty do druku 22.12.2014 r.



Zezwala się na korzystanie z artykułu na warunkach licencji Creative Commons Uznanie autorstwa 3.0

lujących ze sobą ciał powstaje poślizg wzdluzny, który często wyraża się jako tzw. poślizg względny  $S_N$ , który zależy jest od siły napędowej napędzanego koła pojazdu, przeciwdziałającej jej sile styrcznej na rolce hamowni. Należy pamiętać, że istotny wpływ na wartość poślizgu ma rodzaj i stan opony, ciśnienie, promień rolki hamowni oraz wymiana ciepła pomiędzy oddziałującymi na siebie ciałami [7].

Na podstawie zebranych wyżej informacji, zakłada się, że poślizg względny, podczas testów na hamowni podwoziowej, ma charakter systematyczny (w kontekście metrologicznym), który wpływa w istotny sposób na wynik pomiaru.

Wg Siłki [8], poślizg względny to iloraz prędkości liniowej pojazdu i chwilowej prędkości środka koła (3).

$$S_N = \frac{V_p}{v} = \frac{v_p}{r_{kinem.} \cdot \omega_K}, \quad (3)$$

gdzie:  $S_N$  – poślizg względny,  $v_p$  – prędkość liniowa pojazdu,  $v$  – chwilowa prędkość środka koła,  $\omega_K$  – prędkość kątowna koła.

Moc na kołach napędowych można wyrazić iloczynem prędkości liniowej i siły napędowej na rolce hamowni. Obliczona w taki sposób moc na kołach napędowych obciążona jest błędem, z uwagi na występowanie poślizgu względnego, ponieważ wartość obliczona jest niższa od rzeczywistej [6]. Biorąc pod uwagę ten fakt, należy uwzględnić wartość poślizgu względnego przy obliczaniu mocy na kołach napędzanych pojazdu (4).

$$N_K = \frac{r_{dynam.}}{r_{kinem.}} \cdot \frac{1}{1 - S_N} \cdot F_N v, \quad (4)$$

gdzie:  $N_K$  – moc na kołach napędzanych pojazdu,  $r_{dynam.}$  – promień dynamiczny,  $r_{kinem.}$  – promień kinematyczny,  $F_N$  – siła napędowa,  $v$  – prędkość liniowa rolki hamowni.

Obserwując przebiegi poślizgu względnego dla kół (napędzanych) współpracujących z różnymi nawierzchniami oraz zmiany wartości momentu hamującego i napędowego podczas przeprowadzanych testów na hamowni podwoziowej, możliwe jest założenie, że poślizg względny kół napędzanych jest równoważny z występowaniem błędu systematycznego, wpływającego na niepewność pomiarową mocy na kołach napędzanych pojazdu [3].

## 2. Metody pomiaru

Aspektem wymagającym należytej uwagi, podczas wykonywania testów na hamowni podwoziowej, jest dobór odpowiedniej metody pomiarowej, która pozwoli na wyznaczenie poślizgu względnego. Jedną z metod jest wyznaczenie prędkości liniowej oddziałujących wzajemnie ciał, tj. koła napędzanego pojazdu i rolki hamowni podwoziowej, a poślizg względny dla tak przedstawionego układu można wówczas zapisać, jako (6),

$$S_N = 1 - \frac{V_R}{V_K}, \quad (5)$$

gdzie:  $V_R$  – prędkość liniowa rolki hamowni,  $V_K$  – prędkość liniowa koła napędzanego.

Z uwagi na odkształcenie bieżnika opony i samej opony, aby dokonać pomiaru prędkości liniowej koła napędzanego i rolki hamowni podwoziowej, należałoby wykorzystać metodę fotometryczną [2, 10], dlatego zwykle wykorzystuje się metodę pośrednią, gdzie prędkości liniowe są wyznaczone na podstawie pomiaru prędkości kątownej koła napędzanego i rolki hamowni, jednakże należy znać promień rolki hamowni, który jest stały

oraz dokonywać pomiaru promienia dynamicznego napędzanego koła pojazdu [6].

Innym rozwiązaniem jest wyznaczanie poślizgu względnego dla stałej prędkości rolki hamowni dla warunków, gdzie wartość poślizgu względnego jest możliwie najmniejsza. Zgodnie ze stanem wiedzy [5, 11], opisany wcześniej stan można uzyskać dla ruchu z ustalonym, niewielkim, momentem napędowym kół napędzanych, tak, aby zniwelować wpływ oporów toczenia, powstające, gdy rolka hamowni napędza koła pojazdu. Aby tego dokonać, kierowca pojazdu, stale musi obserwować wskazania siły napędowej rolki hamowni dla ustalonej, stałej prędkości liniowej rolki hamowni. Dla dalej opisanych badań, gdzie wyznaczano prędkość kątowną koła napędzanego, kierowca, obserwując wartość siły napędowej, utrzymywał wartość siły styrcznej na poziomie  $F_s = 0 \pm 20$  N.

Dla wyżej opisanej metodyki wyznaczania poślizgu względnego, można jego wartość wyznaczyć poniższym wyrażeniem (6).

$$S_N = 1 - \frac{\omega_K}{\omega_{K0}}, \quad (6)$$

gdzie:  $\omega_K$  – prędkość kątowna koła,  $\omega_{K0}$  – prędkość kątowna koła bez poślizgu.

## 3. System pomiarowy

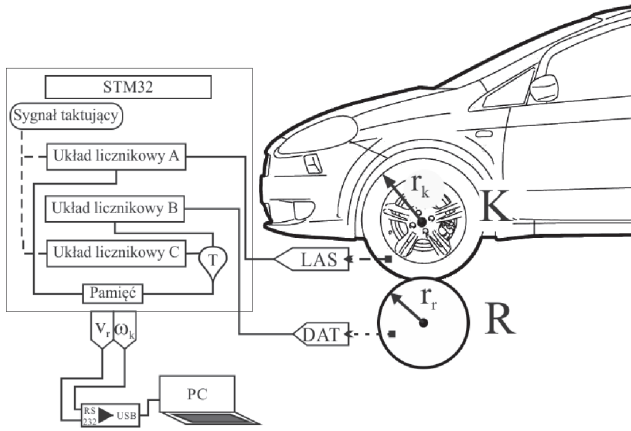
Przyjmując wyżej opisaną metodę wyznaczania poślizgu względnego, należy monitorować prędkość kątowną napędzanego koła pojazdu  $\omega_K$  oraz prędkość liniową rolki hamowni  $V_R$ .

Pomiar prędkości liniowej rolki hamowni  $V_R$  realizowano, dzięki urządzeniu Datron, przy wykorzystaniu głowicy L350 Aqua, którą skierowano w kierunku powierzchni cylindrycznej rolki hamowni. Wartość prędkości wyznaczano przez różniczkowanie drogi po czasie. Droga przebyta przez rolkę, była obliczana dzięki zliczaniu zboczy narastających sygnału dwustanowego z urządzenia Datron. Urządzenie Datron skonfigurowano w taki sposób, aby każde, pojedyncze zliczone zbocze narastające oznaczało 1 cm przebytej drogi. Wynik porównano z pomiarem czasu pełnego obrotu rolki hamowni oraz wskazaniami prędkości liniowej hamowni na interfejsie obsługi użytkownika hamowni podwoziowej. Różnica wskazań nie przekraczała 0,2 km/h.

Pomiar prędkości kątownej napędzanego koła pojazdu  $\omega_K$  opierał się na pomiarze czasu trwania jednego obrotu koła. Pomiar wyzwalano i rejestrowano dzięki folii odbłyiskowej pełniącej rolę znacznika dla czujnika laserowego, z którego sygnał dwustanowy rejestrowany był przez mikrokontroler (STM32F103VBT6). Zmiana stanu na wyprowadzeniu mikrokontrolera sygnalizowała rozpoczęcie nowego i zakończenie starego pomiaru czasu każdego, kolejnego obrotu koła pojazdu.

Do wyżej opisanych pomiarów opracowano system pomiarowy (rys. 1), gdzie szczególnie wykorzystano układy licznikowe, wspomnianego wcześniej mikrokontrolera, dla których sygnałem taktującym był sygnał zegarowy pochodzący z zewnętrznego rezonatora kwarcowego.

Jak wcześniej wspomniano do pomiarów użyto odpowiednio skonfigurowanych układów licznikowych. Do pomiaru prędkości liniowej rolki hamowni  $V_R$ , gdzie wykorzystywano sygnał pochodzący z urządzenia Datron. Dla tego pomiaru zadaniem było zliczenie zboczy narastających, które opisywały przebytą drogę przez rolkę hamowni i odniesienie jej wartości do ustalonej ramy czasu. W tym przypadku ustalono, że przerwanie zegarowe licznika będzie zapamiętywało zliczoną wartość zboczy co 40 ms. Natomiast prędkość kątowną napędzanego koła pojazdu ustalano na podstawie czasu trwania obrotu koła, tak więc, układ licznikowy mikrokontrolera skonfigurowano tak, aby wartość licznika inkrementowana była co 0,1 ms.



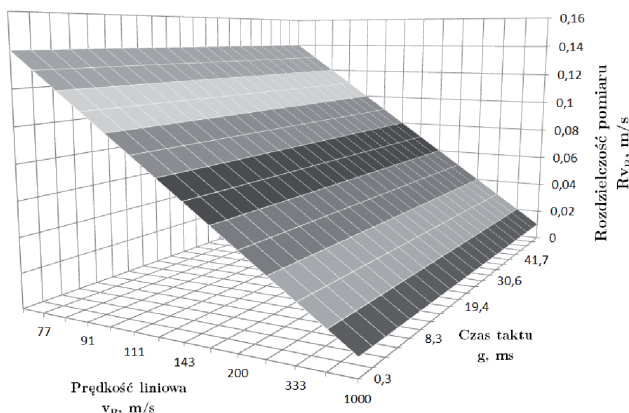
Rys. 1. Schemat opracowanego systemu pomiarowego  
Fig. 1. A diagram of the measuring system

Oznaczenia na rys. 1: K – koło napędzane samochodem, R – rolka hamowni podwoziowej,  $r_K$  – promień koła samochodu,  $r_R$  – promień rolki hamowni podwoziowej, LAS – czujnik laserowy, DAT – urządzenie Datron, T – czas zliczania zboczy narastających z urządzenia Datron,  $\omega_K$  – prędkość kątowna koła samochodu,  $V_R$  – prędkość liniowa rolki hamowni podwoziowej.

Wszystkie wyżej opisane, a podczas pomiaru zebrane, dane gromadzone były w komputerze za pomocą złącza szeregowego i przy wykorzystaniu protokołu RS-232.

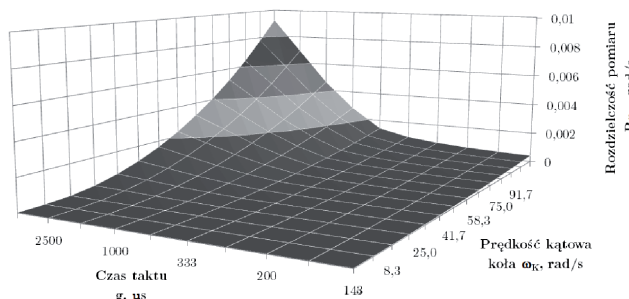
## 4. Rozdzielczość pomiaru

Aby móc skonfigurować system pomiarowy, należało ustalić jego rozdzielczość pomiarową (rys. 2.)



Rys. 2. Funkcja rozdzielczości pomiarowej prędkości liniowej rolki hamowni

Fig. 2. Measurement resolution of linear velocity of roller chassis dynamometer



Rys. 3. Funkcja rozdzielczości pomiarowej prędkości kątowej koła samochodu

Fig. 3. Measurement resolution of angular velocity of the car wheel

Ustalono, że rozdzielczość pomiarowa, dla pomiaru prędkości liniowej rolki hamowni, uzależniona jest od długości czasu w jakim układ licznikowy zlicza zbocza narastające sygnału dwustanowego z urządzenia Datron oraz długości taktu będącego podstawą czasu dla układu licznikowego.

Dla pomiaru prędkości kątowej koła samochodu, ustalono, że rozdzielczość pomiaru (rys. 3.) rośnie nieliniowo w funkcji prędkości kątowej koła oraz długości taktu, będącego podstawą czasu dla wybranego układu licznikowego.

Ustalono, że rozdzielczość pomiaru prędkości liniowej rolki hamowni podwoziowej  $R_{v_r}$  jest liniowa i zależy wyłącznie od prędkości liniowej rolki hamowni. W czasie taktu wynoszącym  $1 \times 10^{-3}$  s, rozdzielczość jest stała i wynosi 0,01 m/s, a w czasie taktu wynoszącym  $7,14 \times 10^{-5}$  s, rozdzielczość jest również stała i wynosi 0,14 m/s.

Ustalono również, że rozdzielczość pomiaru prędkości kątowej koła samochodu  $R_{\omega_K}$  jest nieliniowa i zależy od prędkości kątowej koła oraz czasu taktu układu licznikowego. Rozdzielczość rośnie nieliniowo od  $4,4 \cdot 10^{-9}$  rad/s (przy  $\omega_K = 0,33$  rad/s) do  $3,9 \times 10^{-4}$  rad/s (przy  $\omega_K = 100$  rad/s) dla czasu taktu układu licznikowego wynoszącym  $1,43 \times 10^{-7}$  s. Natomiast, dla czasu taktu wynoszącym  $2,5 \times 10^{-5}$  s, rozdzielczość rośnie nieliniowo od  $7,7 \times 10^{-7}$  rad/s (przy  $\omega_K = 100$  rad/s) do  $6 \times 10^{-2}$  rad/s (przy  $\omega_K = 100$  rad/s).

## 5. Niepewność pomiarowa

Miarą wpływu poślizgu względnego na wynik pomiaru mocy na hamowni podwoziowej jest niepewność pomiarowa. Wartość poślizgu względnego jest ustalana pośrednio, dzięki informacji o prędkości kątowej koła oraz prędkości liniowej rolki hamowni.

Najpowszechniejsze metody wyznaczania niepewności pomiarowej to metoda A i B [1, 9]. Metoda A opiera się na analizie statystycznej zebranych wyników pomiarowych, natomiast druga metoda obejmuje sposoby wyznaczania niepewności pomiarowej, które dotyczą urządzeń pomiarowych, gdzie pomiar obarczony jest błędem systematycznym.

Poniższym wzorem (7) opisano niepewność pomiarową prędkości liniowej rolki hamowni, do czego wykorzystano metodę różniczki zupełnej.

$$\Delta v = \left( \left| \frac{1}{T \cdot g} \right| \cdot \Delta L_i \right) + \left( \left| \frac{1}{g \cdot T^2} \right| \cdot \Delta T \right) + \left( \left| \frac{1}{T \cdot g^2} \right| \cdot \Delta g \right), \text{ m/s} \quad (7)$$

gdzie: T – czas zliczania zboczy narastających sygnału z urządzenia Datron, g – czas trwania taktu układu licznikowego,  $L_i$  – stan licznika dla czasu T,  $\Delta L_i$  – rozdzielczość dwóch kolejnych pomiarów  $L_p$ ,  $\Delta T$  – niepewność okresu,  $\Delta g$  – niepewność taktu.

Dla pomiaru prędkości liniowej rolki hamowni wykazano liniowość niepewności pomiarowej, która zależy od wartości prędkości liniowej rolki hamowni. Jej wartość rośnie od 0,004 m/s (przy 1 km/h) do 0,5 m/s (przy 200 km/h).

Do ustalenia niepewności pomiarowej dla pomiaru prędkości kątowej koła samochodu, również wykorzystano metodę różniczki zupełnej (8).

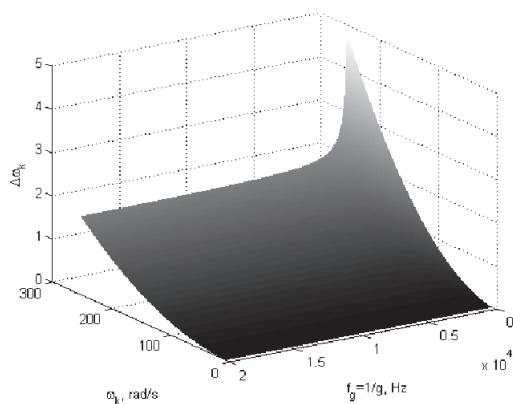
$$\Delta \omega_K = \left( \left| \frac{60}{g \cdot L_i^2} \right| \cdot \Delta L_i \right) + \left( \left| \frac{60}{L_i \cdot g^2} \right| \cdot \Delta g \right) \cdot \frac{2\pi}{60} \quad (8)$$

gdzie: g – czas trwania taktu układu licznikowego,  $L_i$  – liczba zboczy narastających układu licznikowego w czasie trwania jednego obrotu koła.

Podczas wyznaczania niepewności pomiarowych pominięto błąd utrzymania częstotliwości taktowania, który jest błędem systematycznym, a jego wartość mieści się w tolerancji częstotliwości sygnału taktującego. Możliwe jest skompensowanie tego błędu dzięki pomiarom lub porównaniu do sygnału taktującego pochodzącego z dokładnego generatora.

Należy zaznaczyć, że na niepewność pomiarową, dla pomiaru prędkości kątownej koła, wpływa ilość zboczy narastających zliczonych podczas trwania jednego obrotu koła oraz czas trwania taktu sygnału zegarowego.

Wykazano, że tzw. pierwszy składnik równania opisującego niepewność pomiarową prędkości kątownej koła (8), tylko w niewielkim stopniu wpływa na sumaryczną wartość tej niepewności pomiarowej. Natomiast dla pomiaru prędkości kątownej koła, wpływ na sumaryczną wartość niepewności pomiarowej jest już istotny, co obrazuje przedstawiony dalej wykres (rys. 4).



Rys. 4. Niepewność pomiarowa prędkości kątownej koła samochodu  
Fig. 4. Measurement uncertainty angular velocity of the car wheel

Z powyższych rozważań wynika, że na zmniejszenie niepewności pomiarowej największy wpływ ma konfiguracja układu licznikowego oraz możliwie najniższa niepewność sygnału taktującego generowana przez dobrany generator. W tym miejscu należy zaznaczyć, że z analizy podaży generatorów sygnału taktującego, nie zaobserwowano istotnego wpływu w dokładności sygnału taktującego na cenę generatora.

Ustalono, że niepewność pomiarowa dla pomiaru prędkości kątownej koła samochodu ma przebieg nieliniowy i zależy od częstotliwości taktowania układu licznikowego oraz prędkości kątownej koła samochodu. Zatem, przy częstotliwości 20 kHz, niepewność pomiarowa rośnie nieliniowo od  $9,73 \times 10^{-4}$  rad/s (przy  $\omega_K = 6,283$  rad/s) do 0,736 rad/s (przy  $\omega_K = 159,7$  rad/s). Natomiast dla częstotliwości 200 Hz, niepewność pomiarowa rośnie nieliniowo od  $5,4 \times 10^{-3}$  (przy  $\omega_K = 6,283$  rad/s) do 2,03 rad/s (przy  $\omega_K = 159,7$  rad/s). Należy zaznaczyć, że do ustalenia niepewności pomiarowej dla pomiaru prędkości kątownej koła, przyjęto promień dynamiczny koła samochodu  $r_{dynam.} = 0,318$  m.

Podczas badań na hamowni podwozowej, gdzie obiektem badań był samochód marki Fiat Punto, wyznaczono, przy wykorzystaniu metody różniczki zupełnej, niepewność pomiarową poślizgu względnego kół napędzanych samochodu, którą opisuje poniższa zależność (9).

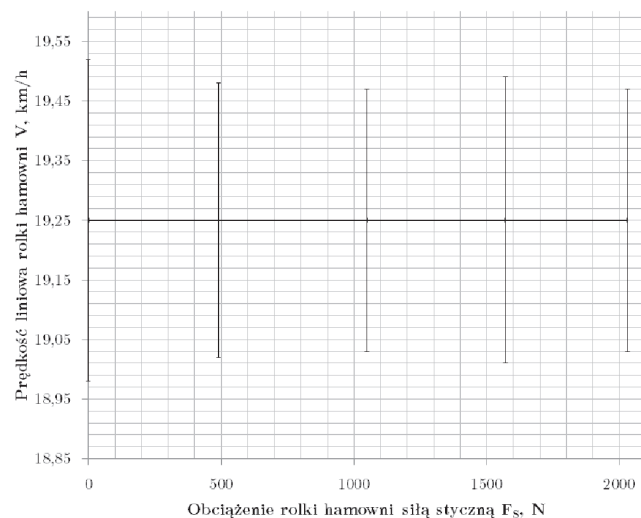
$$\Delta S_N = \left( \left| \frac{1}{\omega_K} \right| \cdot \Delta \omega_{K0} \right) + \left( \left| \frac{\omega_{K0}}{\omega_K^2} \right| \cdot \Delta \omega_K \right), \quad (9)$$

gdzie:  $\omega_K$  – prędkość kątowna koła samochodu,  $\omega_{K0}$  – prędkość kątowna koła samochodu bez poślizgu,  $\Delta \omega_K$ ,  $\Delta \omega_{K0}$  – rozdziel-

czość pomiaru prędkości kątownej koła samochodu poruszającego się z poślizgiem i bez poślizgu.

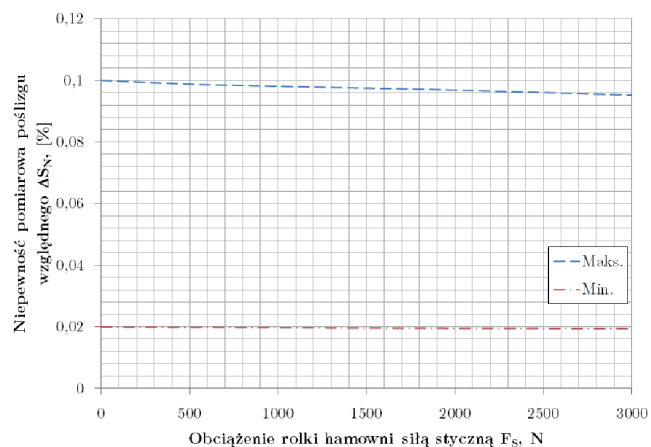
Analizując dane podawane przez producenta hamowni podwozowej, ustalono, że każda z rolek hamowni MSR 500/2 ma masę 300 kg. Urządzenie może wygenerować, dzięki dwóm elektrycznym silnikom trójfazowym, moment hamujący o łącznej mocy 22 kW, a możliwa do uzyskania największa siła styczna na rolce hamowni to  $F_s = 7$  kN. Na hamowni można prowadzić pomiary przy prędkości maksymalnej 300 km/h. Producent podaje, że uzyskane wyniki uzyskane są z dokładnością 2 %.

Wykres (rys. 5) przedstawia wyniki niepewności pomiarowej dla pomiaru prędkości liniowej rolki hamowni. Ponadto, wyniki obrazują pracę regulatora prędkości liniowej rolek hamowni, który wykazuje stabilną pracę.



Rys. 5. Niepewność pomiarowa prędkości liniowej rolki hamowni  
Fig. 5. Measurement uncertainty linear speed of the roller dynamometer

Kolejny wykres (rys. 6) przedstawia niepewność pomiarową poślizgu względnego koła samochodu, która była wyznaczana dla różnych obciążeń siłą styczną  $F_s$  rolki hamowni.



Rys. 6. Niepewność pomiarowa poślizgu względnego SN koła samochodu Fiat Punto

Fig. 6. Measurement uncertainty of relative slip SN of car wheel of Fiat Punto

## 6. Wnioski

Wykazano, że dla tego rodzaju badań na hamowni podwozowej, niepewność pomiarowa pozostaje stała, jeśli stały jest stosunek niepewności generowania sygnału taktującego i czasu trwania taktu.



Zmiany rozdzielczości i niepewności pomiarowej dla pomiaru prędkości kątowej koła, mają charakter nieliniowy. Najistotniejszy wpływ na rozdzielczość pomiarową prędkości kątowej koła ma czas trwania taktu układu licznikowego i jego niepewność pomiarowa.

Dla opracowanego systemu pomiarowego niepewność pomiarowa poślizgu względnego wynosi od 0,1 do 0,2 na każdy procent wartości poślizgu.

## Bibliografia

1. Arendarski J., *Niepewność pomiarów*. Oficyna Wyd. PW, Warszawa 2006.
2. Białczyk W., Cudzik A., Czarnecki J., Moś D., *Ocena energetycznych parametrów współpracy układu koło napędowe-droga leśna*, Inżynieria Rolnicza 1(119)/2010.
3. Brol S., *Analiza możliwości wykorzystania bezpośredniego pomiaru przyspieszenia do wyznaczania właściwości trakcyjnych samochodu osobowego*, Oficyna Wydawnicza PO, Opole 2013.
4. Jungyun K., *Design, Analysis and Control of a Spherical Continuously Variable Transmission*, Rozprawa Doktorska, School of Mechanical and Aerospace Engineering, Seoul National University, Seoul 2001.
5. Lanzendoerfer J., Szczepaniak C., Szosland A., *Teoria ruchu samochodu*, Wyd. PŁ, Łódź 1988.
6. Mitschke M., *Dynamika samochodu. T. 2, Drgania*, WKiŁ, Warszawa 1989.
7. Reński A., Sar H., *Application of dynamic slip characteristics in simulation of vehicle*, Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów 5(72)/2008, Warszawa 2008.
8. Silka W., *Teoria ruchu samochodu*, WNT, Warszawa, 2002.
9. Skubis T., *Podstawy metrologicznej interpretacji wyników pomiaru*, Wyd. PŚ, Gliwice 2004.
10. Słowiński K., Walczyk J., *Pomiary poślizgu kół przy pomocy poślizgomierza fotooptycznego*, Inżynieria Rolnicza 10/2005.
11. Szosland A., Dychto R., *Wpływ parametrów dynamiki pojazdu na działanie układu ESP*, Konferencja Hamulcowa, Łódź 2004.
12. [www.antyterroryzm.com] – Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów PIAP (14 listopada 2014).
13. [www.robotyka.info.pl/cyborg] – Robot Warrior I – Koło Naukowe Cyborg++ (14 listopada 2014).

## Measurement System of Relative Slip on Chassis Dynamometer

**Abstract:** This article presents the method of determining the relative slip of the pneumatic wheel of car on a single-roller of chassis dynamometer. It was established that the relative slip can be treated as a systematic error, which substantially affects the measurement of power on a chassis dynamometer. Relative slip was determined by using specially developed measurement system which is based on microcontroller STM32. It presents problems associated with calibration of counting systems, where the objective is to obtain the smallest measurement uncertainty.

**Keywords:** STM32, chassis dynamometer, relative slip, velocity

### mgr inż. Piotr Mróz

p.mroz.po@wp.pl

Doktorant w Katedrze Pojazdów Drogowych i Rolniczych na Wydziale Mechanicznym Politechniki Opolskiej. Zajmuje się identyfikacją i sterowaniem układami napędowymi pojazdów samochodowych oraz budową systemów pomiarowych. Stypendysta Unijny z projektu Stypendia doktoranckie – inwestycja w kadre naukową województwa opolskiego II.



### dr hab. inż. Sebastian Brol

s.brol@po.opole.pl

Pracownik samodzielny w Katedrze Pojazdów Drogowych i Rolniczych na Wydziale Mechanicznym Politechniki Opolskiej. Główne obszary pracy to testowanie pojazdów samochodowych, budowa urządzeń pomiarowych i diagnostyka.

